

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Návrh a nastavení elektrických ochran
pro rozvodnu 22 kV

Project and Adjustment of Switching Station Protections

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Dalibor Jakšík**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Návrh a nastavení elektrických ochran pro rozvodnu 22 kV**
Project and Adjustment of Switching Station Protections

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění se zaměřením na ochrany vedení vn.
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových poměrů.
3. Popis ochrany navržených pro chránění rozvodny Ostrava-Poruba 22 kV.
4. Výpočet zkratových poměrů pro nastavení ochrany.
5. Návrh a nastavení ochrany vedení vn.
6. Zhodnocení návrhu.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
3. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
4. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
5. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
6. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny 22 kV.

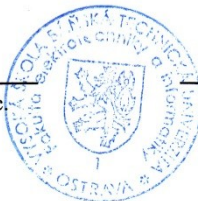
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7. 5. 2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jakšík', is written over a horizontal dotted line.

Bc. Dalibor Jakšík

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za jeho trpělivost a cenné rady. Rovněž bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Milanu Blokšovi za odborné rady a připomínky k této práci.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je navrhnout a nastavit elektrické ochrany v rozvodně Ostrava-Poruba 22 kV. První část práce je zaměřena na teoretický rozbor ochran a jištění. Ve druhé části práce se zabývám teoretickými výpočty zkratových poměrů. Další část práce je věnována popisu ochran navržených pro chránění rozvodny Ostrava-Poruba 22 kV. V poslední části se zabývám výpočty zkratových poměrů pro nastavení ochran a samotným návrhem a nastavením ochran vedení.

Klíčová slova

Selektivita, citlivost, spolehlivost, rychlost působení, nadproudová ochrana, zemní ochrana, zkrat, vedení, rozvodna, ochrana proti nesymetrii, automatika opětovného zapnutí, detekce zemních poruch.

Abstract

The aim of this thesis is to design and set electrical protection in substation Ostrava-Poruba 22 kV. The first part focuses on the theoretical analysis of protections and protection. The second part of the thesis deals with the theoretical calculations of short-circuit and the next section is dedicated to the description of protections which are designed for the substation Ostrava-Poruba 22 kV. The last part pays attention to the calculation of short-circuit ratios for the settings of protection and then the actual design and settings of line protections.

Keywords

Selectivity, sensitivity, reliability, speed operation, overcurrent protection, fault protection, short circuit, leadership, substation, protection against unbalance, automatic reclosing, detection of ground faults

Seznam použitých symbolů a zkratek

$I_{k3\ max}$	maximální trojfázový zkratový proud	(kA)
$I_{k3\ min}$	minimální trojfázový zkratový proud	(kA)
l	délka vedení	(m)
p_p	převodový poměr	(-)
R_v	odpor úseku vedení	(Ω)
R_k	odpor kabelů	(Ω/km)
S_k''	maximální zkratový výkon	(MVA)
S_k''	minimální zkratový výkon	(MVA)
t_{vyp}	maximální vypínací čas	(s)
X_k	reaktance kabelů	(Ω/km)
X_k''	maximální zkratová reaktance	(Ω)
X_k''	minimální zkratová reaktance	(Ω)
X_{max}	maximální zkratová reaktance na přípojnicích	(-)
X_{min}	minimální zkratová reaktance na přípojnicích	(-)
$X_{s\ max}$	maximální zkratová reaktance na straně 110 kV	(-)
$X_{s\ min}$	minimální zkratová reaktance na straně 110 kV	(-)
X_{T101}	reaktance transformátoru T101	(-)
X_{T102}	reaktance transformátoru T102	(-)
X_v	výsledné reaktance vedení	(Ω)

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Teoretický rozbor ochran a jištění.....	2
2.1 Definice ochrany	2
2.2 Požadavky kladené na elektrické ochrany a jištění	3
2.2.1 Rychlost působení ochran	3
2.2.2 Selektivita ochran.....	3
2.2.3 Citlivost ochran	3
2.2.4 Spolehlivost působení	3
2.3 Základní členy ochran	4
2.3.1 Vstupní člen.....	4
2.3.2 Popudový člen	4
2.3.3 Logika	4
2.3.4 Měřicí člen.....	4
2.3.5 Časový člen	7
2.3.6 Koncový člen.....	7
2.3.7 Napájecí člen	7
2.3.8 Filtry souměrných složek	7
2.4 Nadproudové ochrany	8
2.4.1 Nezávislé nadproudové ochrany	9
2.4.2 Závislé nadproudové ochrany	11
2.4.3 Směrové nadproudové ochrany	11
2.5 Zemní ochrana v kompenzované síti.....	12
2.5.1 Funkce zemní směrové ochrany v kompenzované síti	12

2.5.2 Určení místa zemní poruchy	13
2.5.3 Zhášená síť	14
3. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů	15
3.1 Zkratý	15
3.2 Názvosloví a označování zkratových veličin	15
3.3 Postup výpočtu	16
3.4 Určování sousledných parametrů prvků soustavy ve fyzikálních jednotkách.....	17
3.5 Vztahy pro výpočet zkratových proudů	19
4. Popis ochran navržených pro chránění rozvodny Ostrava-Poruba 22 kV.....	21
4.1 Nadproudová ochrana	21
4.1.1 Nezávislé zkratové stupně $I_{>>}$, $IE_{>>}$	21
4.1.2 Nezávislé nadproudové stupně $I_{>}$, $IE_{>}$	21
4.1.3 Proudově závislé nadproudové stupně I_p , IE_p	22
4.2 Směrová nadproudová ochrana	22
4.2.1 Všeobecně	22
4.3 Ochrana proti nesymetrii.....	23
4.4 Automatika opětného zapnutí.....	23
4.5 Detekce zemních poruch	24
5. Výpočet zkratových poměru pro nastavení ochran	25
5.1 Výpočet pro rozvodnu Ostrava-Poruba 110/22 kV	25
5.2 Příklad výpočtu pro vedení VN1862.....	27
5.3 Výpočet pro napájení Poruba A, B.....	33
5.4 Výpočet pro Fakultní nemocnici	37
6. Návrh a nastavení ochran vedení VN.....	39

6.1 Nastavení ochran pro stanice Poruba A, B.....	39
6.2 Nastavení ochran ve vstupní rozvodně Fakultní nemocnice Ostrava.....	40
6.3 Nastavení ochran v rozvodně Ostrava - Poruba	41
7. Závěr	42
Použitá literatura	43
Seznam obrázků	44
Seznam tabulek	45

1. Úvod

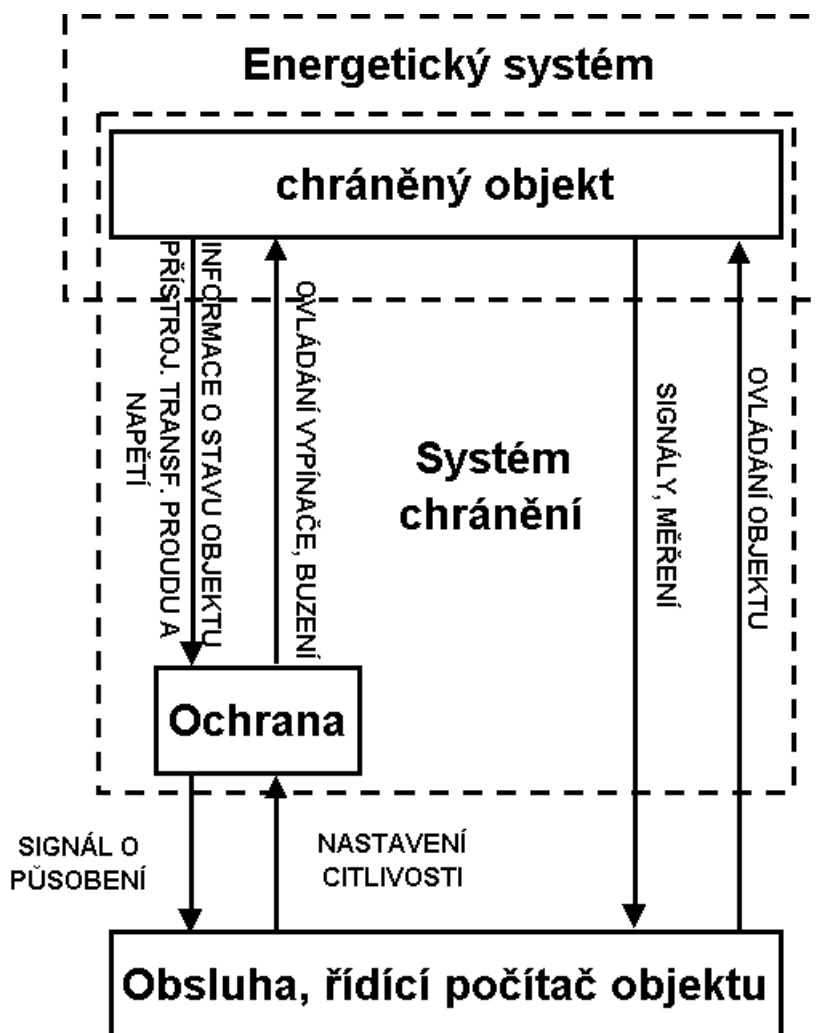
Ochrana je zařízení, které slouží ke kontrole činnosti určité části energetického systému. V této diplomové práci se zabývám ochranami umístěnými na vedeních vycházejících z nově postavené rozvodny Ostrava-Poruba 22 kV. Rozvodna byla postavena z důvodů napájení stávajících a plánovaných objektů v Ostravě-Porubě: Fakultní nemocnice, Vysoké školy Báňské, Vědecko-technologického parku atd.

Tato diplomová práce je rozdělena na teoretickou část a na praktickou část. V teoretické části se zabývám teoretickým rozbořem ochrany a jistění. A dále také teoretickými výpočty zkratových poměrů. Praktická část je zaměřena na výpočet zkratových poměrů a nastavení ochrany pro vedení VN. Nastavení ochrany je provedeno pro napájení Fakultní nemocnice, napájecích stanic Poruba A, B a pro Vysokou školu báňskou.

2. Teoretický rozbor ochran a jištění

2.1 Definice ochrany

Ochrana je zařízení, které kontroluje činnost určité části energetického systému. Porovnává skutečnou hodnotu s předem nastavenou. Základní informace stavu jednotlivých veličin chráněného objektu dostává prostřednictvím přístrojových transformátorů proudů a napětí a dále také čidel nebo elektronických převodníků. Ochrana zpracovává informaci o proudu a napětí, na základě těchto informací rozlišuje, jestli se jedná o normální provoz nebo o poruchu. V případě poruchy ochrana okamžitě zareaguje a vypíná chráněný objekt. Existuje také vazba mezi ochranou a obsluhou, nebo řídicím počítačem, popřípadě mezi počítačem a chráněným objektem.[1]



Obr. 1 Schéma spolupráce mezi ochranou a chráněným objektem

2.2 Požadavky kladené na elektrické ochrany a jištění

2.2.1 Rychlost působení ochran

Omezuje nebezpečné následky poruch. Při zkratech se snižuje rychlým vypnutím nebezpečí tepelného poškození vodičů a izolace, ztráty stability synchronních strojů. Rychlost reakce nejrychlejších ochran je 0,02 – 0,04 s. K tomuto času je nutné přičíst vypínací dobu výkonových vypínačů, která je 0,05 – 0,06 s. Součet těchto dvou časů udává celkovou dobu působení zkratového proudu. U některých ochran je vyžadováno, aby pro vypínání či signalizaci poruchového stavu byl okamžik vypnutí časově zpožděn. Poté se dá hovořit o tzv. záložní funkci ochrany při krátkodobých provozních přetíženích a méně nebezpečných poruchových stavech.

2.2.2 Selektivita ochran

Je schopnost ochrany vybrat ze sítě jen poškozenou část a odepnout ji nejbližšími vypínači ze sítě tak, aby největší část nepoškozené sítě zůstala v provozu. Selektivita se dosahuje časovým odstupňováním působení ochran nebo odstupňováním úrovně nastavené veličiny objektu.

2.2.3 Citlivost ochran

Je to schopnost zapůsobit na poruchy vyskytující se jen v chráněném úseku, na které je ochrana navržena. Veličina, při které ochrana začne reagovat, musí být nižší nebo vyšší, než hodnota poruchové veličiny. Koeficient citlivosti se pohybuje v rozmezí 1,5 – 2. Menší hodnota než 1,5 se nedoporučuje s ohledem na bezpečné působení ochrany.

2.2.4 Spolehlivost působení

Znamená, že ochrana nesmí při poruše selhat. Naopak nesmí při bezporuchovém provozu chráněného objektu samovolně působit např. při poruše, která nespadá do její působnosti. Elektrické ochrany chrání důležitá a drahá zařízení, a také stabilní chod elektrizační soustavy. Proto je kladen důraz na jejich spolehlivost. Ochrany jsou dlouhou dobu v nečinnosti, a proto je nutné periodicky kontrolovat jejich funkci. Spolehlivost se zvyšuje jednoduchou konstrukcí a náhradou mechanických částí elektrickými a elektronickými prvky. [1,2]

2.3 Základní členy ochran

2.3.1 Vstupní člen

Převádí vstupní veličiny (např. napětí a proud chráněného objektu) na vhodný dále zpracovatelný tvar a úroveň. Jmenovité hodnoty na vstupu ochran bývají 100 V a 5 nebo 1 A. Tyto veličiny jsou přivedeny na svorky ochrany z přístrojových transformátorů proudů a napětí. Vstupní členy ochrany převádí vstupní veličiny prostřednictvím bočníků, děličů a transformátorů. V případech, kdy měřicí člen zpracovává pouze stejnosměrný vstupní signál je pak vstupní člen vybaven usměrňovačem.

2.3.2 Popudový člen

V případě vzniku poruchy v energetické soustavě v dosahu ochrany podává popudový člen o ní informaci logice a měřicímu členu. Je nutné si uvědomit, že ne každá porucha má být odstraněna jedinou ochranou. O tom zda daná porucha patří do kompetence ochrany, rozhodne měřicí člen a logika. Popudový člen pouze zajistí spuštění těchto dvou obvodů. Popudový člen se nějak neliší od měřicího členu ani konstrukcí ani funkcí. Popudový člen je daleko citlivější než měřicí člen.

2.3.3 Logika

Logika ochrany zpracovává logický signál z popudu a určuje funkci měřicího členu. Dále určuje na základě signálu z měřicího členu funkci koncového členu.

Logika ochran se realizuje těmito členy:

- Klasické pomocné relé
- Jazyčkové relé
- Diody a tranzistory
- Integrované obvody
- Programové vybavení počítače

2.3.4 Měřicí člen

Vlastnosti ochran závisí nejvíce na měřicím členu. Měřicí člen rozhoduje o poruše v objektu. Jeho hlavní úlohou je změřit popudovou veličinu a na základě toho určit další působení ochrany. Měřená veličina je periodická funkce, jejímiž základními parametry jsou amplituda a fáze. Proto rozeznáváme dva základní typy měřicích členu a to amplitudový měřicí člen a součinnový měřicí člen měřící fázi mezi dvěma vstupními veličinami.

Amplitudový měřicí člen

Měří velikost vstupního proudu a napětí. Působí při překročení nastavené hodnoty K měřenou veličinou. Rozděluje se na čtyři typy:

a) Střídavý amplitudový měřicí člen na střední hodnotu

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (1.1)$$

K – je citlivost (nastavitelná) měřicího členu

T – je doba periody měřené veličiny $x(t)$

$X(t)$ – je měřená veličina (napětí nebo proud)

b) Střídavý amplitudový měřicí člen na efektivní hodnotu

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (1.2)$$

c) Stejnosměrný amplitudový měřicí člen

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x dt \quad (1.3)$$

d) Amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu

$$K = \max[x(t)] \quad (1.4)$$

Závislý měřicí člen

Jeho doba působení je závislá na velikosti vstupní měřené veličiny. Závislé členy se používají tam, kde vstupní veličina nepoškozuje chráněný objekt přímo svojí velikostí, ale akumulací energie během trvání poruchy. Vybavují se jim závislé proudové ochrany proti přetížení.

Vybavovací čas: pro $X > X_\infty$

$$t = \frac{K}{(X - X_\infty)^n} \quad (1.5)$$

Rozdílový měřicí člen

Jeho princip spočívá v porovnávání dvou vstupních veličin. Začne působit, jestliže je veličina x_a větší než hodnota x_b o nastavenou hodnotu K . Rozdílové měřicí členy se používají v rozdílových ochranách, kde se srovnávají velikosti vstupních veličin.

Rozdílový člen na střední hodnotu má rovnici:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt \quad (1.6)$$

Rozdílový člen na efektivní hodnotu má rovnici:

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|]^2 dt \quad (1.7)$$

Amplitudový komparátor

Jde o speciální případ rozdílového členu s citlivostí $K \rightarrow 0$. Nejčastější jeho použití je v distančních ochranách jako popudový nebo měřicí člen.

Rovnice amplitudového komparátoru:

$$\int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt \geq 0 \quad (1.8)$$

Mají-li vstupní veličiny $x_a(t)$ a $x_b(t)$ harmonický průběh a jedná-li se o napětí a proud pak lze uvést tento tvar rovnice:

$$|\widehat{I}| - |\widehat{U}| \geq 0 \quad (1.9)$$

Po úpravě:

$$\frac{|\widehat{U}|}{|\widehat{I}|} = |\widehat{Z}| \leq 1 \quad (1.10)$$

Součinnový měřicí člen

Používá se jako wattová nebo jalová ochrana nebo jako směrový člen. Jsou-li vstupní veličiny napětí a proud, měří součinnový člen činný výkon.

Rovnice součinnového měřicího členu:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) * x_b(t) dt \quad (1.11)$$

Fázový komparátor

Je vlastně součinnový měřicí člen s velkou citlivostí, kde $K \rightarrow 0$. Potom výstup nezávisí na amplitudách vstupních veličin.

Rovnice fázového komparátoru je:

$$\arg \widehat{x}_a - \arg \widehat{x}_b \leq \pm 90^\circ \quad (1.12)$$

Jsou-li harmonické vstupní veličiny napětí a proud pak platí:

$$\arg \hat{U} - \arg \hat{I} = \arg \left(\frac{\hat{U}}{\hat{I}} \right) = \arg \hat{Z} \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad (1.13)$$

2.3.5 Časový člen

Zajišťuje prodloužení doby působení ochrany. Jeho vstupem je signál z logiky. Jeho úkolem je, aby záložní ochrana působila později než ochrana, která je určena pro přímé chránění objektu. Časový člen také umožňuje zpoždění doby působení, kterým může ochrana dovolit přetížení, pokud toto přetížení neohrožuje chráněný objekt. Dále vylučuje chybné nebo předčasné působení ochrany při přechodných krátkodobých poruchách.

2.3.6 Koncový člen

Koncové členy ochrany tvoří nejčastěji pomocná relé s výkonnými kontakty. Na jejich vstup přichází signál z logiky. Koncový člen má za úkol upravit signál logiky tak, aby byl schopen předání ovládacím zařízením objektu. Musí mít dostatečně vysokou úroveň a odolnost proti vnějšímu rušení.

2.3.7 Napájecí člen

Napájení, neboli pohon ochrany, může být v zásadě zajištěno těmito způsoby:

- a) *Ochrany bez napájení*: nepotřebují pro svou funkci pomocné napětí.
- b) *Napájení ze staniční akumulátorové baterie*: nejpoužívanější způsob napájení elektrických ochran. Akumulátorová baterie je spolehlivá, ale potřebuje důkladnou údržbu, dnes se však používají prakticky jen bezúdržbové baterie.
- c) *Napájení ze střídavé sítě*: Zdroje ze střídavé sítě jsou méně spolehlivé než akumulátory, a proto může docházet častěji k výpadku. Zlepšení spolehlivosti se dosahuje použitím tzv. zálohovaného střídavého napájení z baterie přes střídač.
- d) *Napájení přes stabilizátor*: používá se nejčastěji u tranzistorových a číslicových ochran. Protože vyžadují lepší stabilizaci a filtraci napájecího napětí než elektromechanické členy.
- e) *Galvanické oddělení soustavou střídač-usměrňovač*: je nejdokonalejším zajištěním elektrických ochran proti rušení. Napětí ze staniční baterie je přivedeno do střídače. Následuje galvanické oddělení transformátorem.
- f) *Napájení z přístrojových transformátorů*: nevyžaduje staniční baterii.

2.3.8 Filtry souměrných složek

Filtry souměrných složek proudů a napětí tvoří zvláštní skupinu členů, které se používají v popudových i měřicích členech ochran. Souměrné složky proudu a napětí umožňují rozlišovat různé

druhy nesymetrických poruch. Realizují se pasivními obvody nebo aktivními s použitím zesilovačů.[2,3]

2.4 Nadproudové ochrany

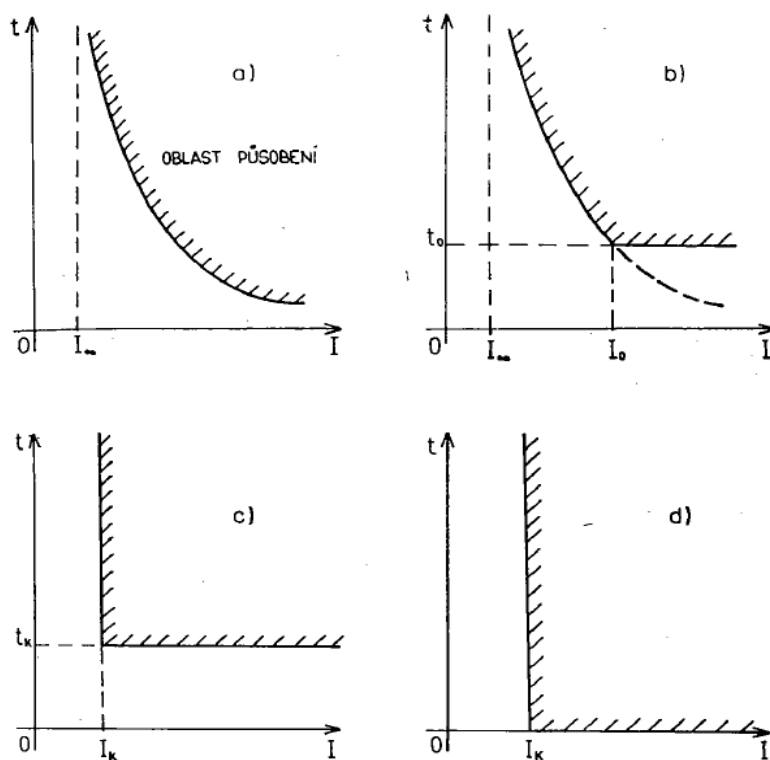
Nadproudové ochrany se používají pro svou jednoduchost, projektují se u většiny vedení VN a případně jako ochrany záložní. Princip působení těchto ochran je odvozen od zvýšeného proudu při přetížení nebo zkratu. Z hlediska působení v závislosti na nadproudu a času rozeznáváme několik typů charakteristik:

- a) Závislou charakteristiku lze napsat rovnicí:

$$t = \frac{K}{(I - I_{\infty})^n} \quad \text{pro } I > I_{\infty} \quad (1.14)$$

$$t = \infty \quad \text{pro } I \leq I_{\infty}$$

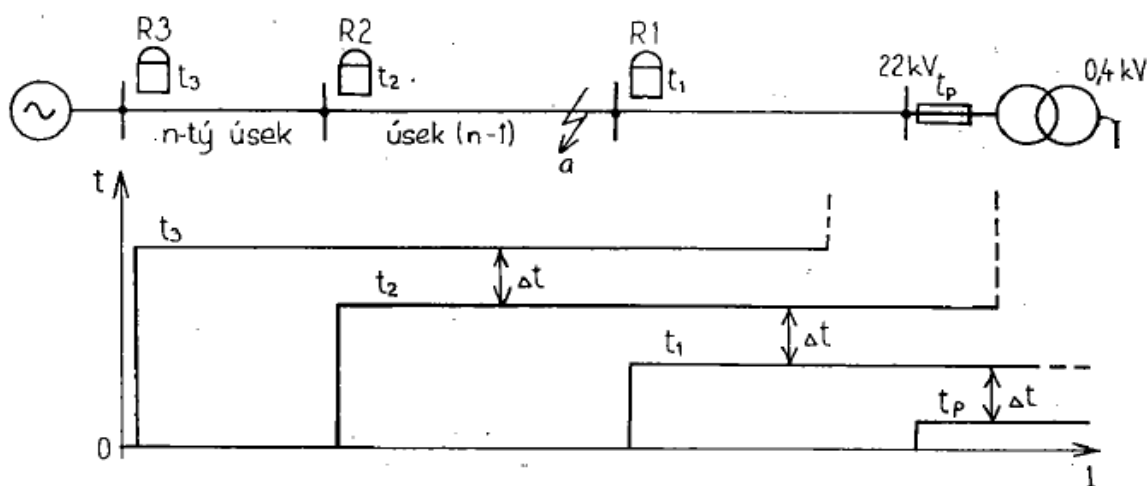
- b) Polozávislá má charakteristiku působení definovanou stejně jako závislá ochrana pouze do velikosti proudu I_0 . Pro větší proudy $I > I_0$ má konstantní dobu působení.
- c) Nezávislá působí, v nastaveném čase t_K při dosažení proudu I_K .
- d) Mžiková působí při překročení nastaveného proudu I_K bez zpoždění. Zpoždění je prakticky dáno pouze vlastním časem ochrany, který bývá u moderních ochran do 20 ms.



Obr. 2 Charakteristiky nadproudových ochran

2.4.1 Nezávislé nadproudové ochrany

Používají se nejčastěji v radiálních sítích vysokého napětí, kde je řada úseku spojena v sérii. Také se používají v radiálních sítích, kdy na koncích jednotlivých úseku jsou velikosti zkratových proudů málo rozdílné. Ochrana ležící nejdále od zdroje má nařízen nejkratší čas t_1 , ale musí být tak dlouhý, aby v další rozvodné síti např. NN začaly působit pojistky a přitom ochrana R1 nepůsobila v souladu se zakresleným vypínacím plánem. Ochranu ležící blíže ke zdroji (relé R2) je nutno nařídit na čas $t_2=t_1+\Delta t$ a podobně ochranu R3 na čas $t_3=t_2+\Delta t$ atd. Koordinační interval Δt závisí na provedení nadproudového relé, a to zvláště na přesnosti zpožďovacího časového členu, a na vypínacích časech vypínačů. U současných nadproudových ochrany bývá 0,2 – 0,5s. Nevýhodou nezávislých nadproudových ochrany je, že nejtěžší zkraty jsou nejbližší ke zdroji a jsou vypínány nejpозději. Jejich výhodou je, že vhodným proudovým nastavením se mohou vzájemně zálohovat.



Obr. 3 Vypínací plán nezávislých ochrany

Nastavování nadproudových nezávislých ochrany

a) Stanovení stupně Δt časové selektivity

při návrhu časového odstupňování ochrany se stanovuje stupeň časové selektivity rozdílem časového zpoždění ochrany dvou sousedních úseků.

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (1.15)$$

Stupeň časové selektivity Δt musí být takový, aby porucha na předchozím úseku (n-1) byla odpojena dříve, než působí ochrana následujícího n-tého úseku ke zdroji. Při stanovení Δt se uvažuje doba vypnutí $t_{v(n-1)}$, celková absolutní největší kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku $t_{r(n-1)}$, celková absolutní nejvyšší záporná chyba t_m a záložní čas t_z .

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_m + t_z \quad (1.16)$$

b) Nastavení rozběhového proudu nadproudových nezávislých ochran

Rozběhový proud I_r musí být větší než největší dovolené zatížení vedení a stanoví se:

$$I_r > \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (1.17)$$

I_n – je největší dovolené zatížení vodičů vedení, případně transformátoru či generátoru

k_p – je přídržný poměr relé

k_b – je koeficient bezpečnosti a volí se v rozmezí $1,1 \div 1,35$

p_i – je jmenovitý převod jistících transformátorů proudu

Dále rozběhový proud I_r nadproudového relé musí být menší než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku pro omezený provozní stav zapojení sítě. U sítí VN provozovaných s izolovaným uzlem transformátoru nebo uzemněným přes Petersonovu cívku je nejmenší zkratový proud při dvoupólovém izolovaném zkratu. Aby relé při nejmenším zkratovém proudu na konci chráněného úseku spolehlivě nabíhalo, musí být splněná podmínka:

$$I_r < \frac{I_{kmin}}{k_c \cdot p_i} \quad (1.18)$$

I_{kmin} – je nejmenší zkratový proud na konci chráněného objektu

k_c – je koeficient citlivosti nadproudových ochran a volí se na základě praktických zkušeností $k_c \geq 1,5$

c) Koordinace proudového nastavení ochran v úsecích řazených za sebou

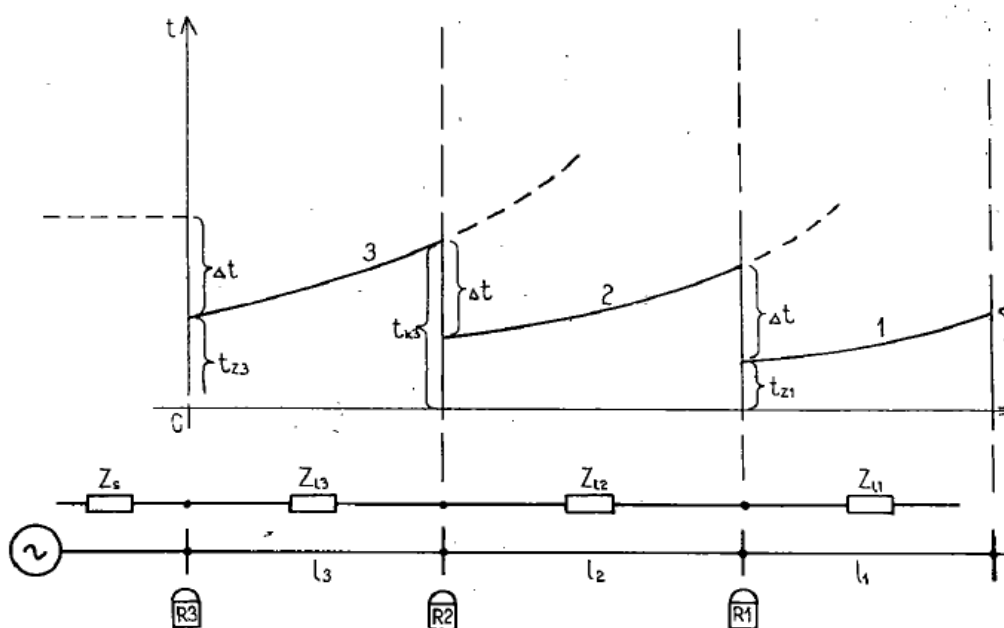
Zde platí, že ochrana blíže ke zdroji nesmí být citlivější než ochrany dalších, vzdálenějších úseků. Nastavení by mělo vyhovovat podmínce, za předpokladu, že síť má pouze jeden zdroj.

$$I_{rn} = (1,1 \div 1,3) I_{r(n-1)} \quad (1.19)$$

I_{rn} , $I_{r(n-1)}$ je proudové nastavení ochran v úseku n a (n-1). Při proudovém nastavení ochran se uvažuje zkratový proud, který v místě připojení ochrany skutečně protéká.

2.4.2 Závislé nadproudové ochrany

Výhodou závislé ochrany je, že zkracuje dobu vypnutí na začátku vedení. To znamená, že těžší zkraty blíže zdroji budou vypínány v kratším čase. Také se musí u těchto ochran volit časové odstupňování jednotlivých ochran vůči sobě, aby se dosáhlo požadované selektivity. Závislé nadproudové ochrany nejčastěji používáme v kabelových paprskových sítích VN.



Obr. 4 Chránění paprskového vedení závislými nadproudovými ochranami

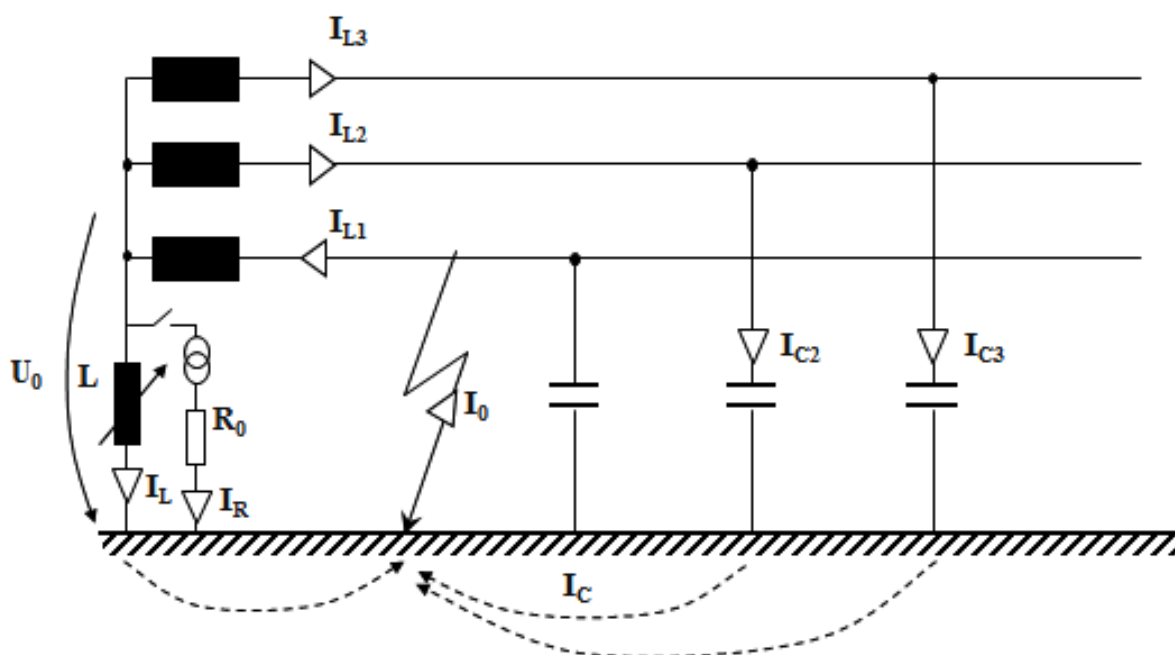
2.4.3 Směrové nadproudové ochrany

Směrové nadproudové ochrany se používají v sítích, kde místo zkratu může být napájeno ze dvou stran nebo při paralelním provozu vedení. Při použití nadproudových ochran bez směrových členů by nebylo možné zajistit selektivitu vypínání. Směrové ochrany obsahují směrový článek, který umožňuje působení v daném směru. Směrový článek se konstruuje jako součinnový měřicí člen. U elektromechanických ochran to je elektrodynamické či indukční relé měřící směr toku jalového popřípadě činného výkonu. V praxi se pro směrová nadproudová relé používají relé nezávislá s konstantním časovým zpožděním. Proudové nastavení se provádí obdobně jako u nezávislých nadproudových relé a časové nastavení podle zásad selektivního působení.[2]

2.5 Zemní ochrana v kompenzované síti

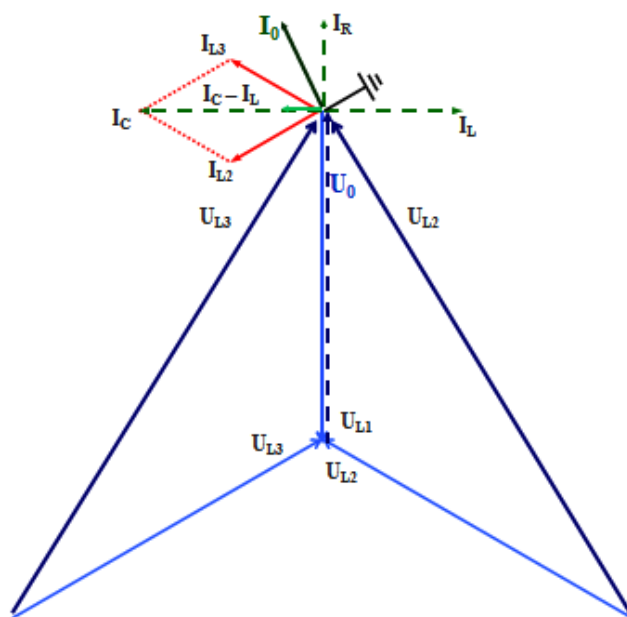
2.5.1 Funkce zemní směrové ochrany v kompenzované síti

V kompenzovaných sítích kompenzuje v případě poruchy Petersenova tlumivka induktivním proudem kapacitní proud zemního spojení, takže kapacitní proud je v místě poruchy kompenzován. Podle místa měření může však být výsledný měřený proud induktivní nebo kapacitní; jalový proud je tedy pro určení směru zemní poruchy nevhodný. Zde je pro určení směru vyhodnocován zbytkový činný proud ze ztrát Petersenovy tlumivky. Tento zbytkový proud činí jen několik procent kapacitního zemního proudu.



Obr. 5 Napěťové a proudové poměry v kompenzované síti 22 kV

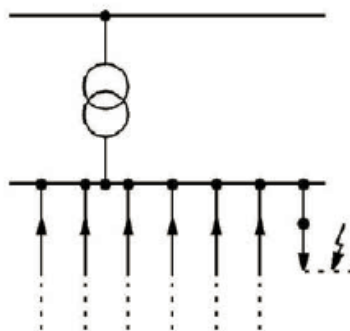
Tlumivka kompenzuje kapacitní proudy sítě a v případě zemního spojení teče poruchovým místem jen malý zbytkový proud I_0 , který nemusí být dostatečný pro náběh zemní ochrany. Proto se na krátkou dobu připojí k tlumivce paralelní odporník, který do obvodu vnutí činný proud, tekoucí pouze postiženou fází. Zároveň způsobí natočení zbytkového proudu a zmenší úhel mezi U_0 a I_0 .



Obr. 6 Vektorový diagram zemního spojení

2.5.2 Určení místa zemní poruchy

Pomocí určení směru může být často zjištěno také místo zemní poruchy. V paprskových sítích je určení místa zemní poruchy relativně bez problematické. Protože všechny vývody jedné přípojnice (obr. 7) dodávají kapacitní složku proudu, je v místě měření postiženého vedení v izolované síti k dispozici skoro celkový poruchový zemní proud sítě; v kompenzovaných sítích teče místem měření zbytkový činný proud kompenzační tlumivky. U postiženého kabelu je proto učiněno jednoznačné rozhodnutí „vpřed“, zatímco ostatní vývody hlásí „vzad“ nebo nemohou vzhledem k nepatrnému zemnímu proudu měření provést. V každém případě je postižený kabel určen jednoznačně.



Obr. 7 Určení místa poruchy v paprskové síti

2.5.3 Zhášená síť

V kompenzované síti je určení směru zemní poruchy ztíženo tím, že pro měření nutný činný zbytkový proud je zpravidla doprovázen o hodně větším proudem jalovým, který má induktivní nebo kapacitní charakter. Celkový zemní proud, přivedený do přístroje, může tedy, nezávisle na konfiguraci sítě a poloze zhášecí tlumivky, mít velmi rozdílné hodnoty co do velikostí tak fázového posunu. Přístroj má ale vyhodnocovat pouze činnou složku zemního proudu, tedy $I_{EE} \cdot \cos \phi$. Toto vyžaduje extrémní míru přesnosti, obzvláště věrnosti převodu úhlů všech transformátorů. Kromě toho nesmí být přístroj nastaven příliš citlivě. Při nasazení v kompenzovaných sítích je proto nutné očekávat spolehlivé měření směru jen při použití průvlekového transformátoru. Také zde přibližně platí: nastavení náběhové hodnoty na polovinu očekávaného měřeného proudu, přičemž se uvažuje pouze činný zbytkový proud. Pro činný zbytkový proud jsou důležité v první řadě ztráty v Petersenově cívce nebo velikost paralelního odporníku. Jako druh měření je použit $\cos \phi$, protože rozhodující pro měření je zde činný zbytkový proud.[8]

3. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů

3.1 Zkrat

Zkratky jsou nejrozšířenějšími poruchami v elektrizační soustavě. Zkrat vzniká poruchovým spojením fází navzájem, nebo spojení fází se zemí v soustavě s uzemněným uzlem. Tímto dochází ke vzniku nežádoucích zkratových proudů. Nejčastějšími příčinami vzniku zkratu bývají údery blesku, poruchy izolace, způsobené přepětím, stárnutím izolačních materiálů a přímým poškozením venkovních vedení a kabelů. Při zkratu se celková impedance zkratem postižené části sítě zmenšuje, zvětšují se proudy. To vede ke snížení napětí v místech blízkých zkratu. V místě zkratu vznikají přechodné odpory vzniklého oblouku a ostatních částí cesty poruchového proudu. Přesné určení velikosti těchto odporů, zvláště odporu oblouku je velmi obtížné. Proud i délka oblouku se v průběhu zkratu mění a mění se i odpor oblouku.

Výpočty maximálních a minimálních zkratových proudů vychází z následujících zjednodušení:

- a) Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, např. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratu zkratem mezi fází a zemí.
- b) Po celou dobu zkratu nenastávají v síti žádné změny.
- c) Při těchto výpočtech se uvažují impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze.
- d) Odpory oblouků se neuvažují.
- e) Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbávány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Druhy zkratu:

- a) Trojfázový zkrat.
- b) Dvoufázový zkrat.
- c) Dvoufázový zemní zkrat.
- d) Jednofázový zkrat.

3.2 Názvosloví a označování zkratových veličin

- a) Poměry při zkratech – hodnoty proudu a napětí při zkratu v určitém místě elektrizační soustavy.
- b) Zkrat – náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.

- c) Mezifázový zkrat – náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodiči se spojením na zem nebo bez něj.
- d) Zkratový proud – nadproud při zkratu, který je důsledkem poruchy nebo nesprávného propojení v elektrickém obvodu.
- e) Předpokládaný zkratový proud – proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změn napájení.
- f) Souměrný zkratový proud – efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbanou eventuální aperiodickou složkou proudu.
- g) Počáteční rázový zkratový proud I''_k – efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci
- h) Stejnoseměrná (aperiodická) složka i_{dc} zkratového proudu – střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule.
- i) Nárazový zkratový proud i_p – maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu.
- j) Ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} – efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění.
- k) Ustálený zkratový proud I_k – efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného jevu.
- l) Trojfázový zkratový výkon S''_k – smluvená hodnota, vyjádřena součinem počátečního rázového zkratového proudu, jmenovitého napětí sítě a fázového činitele $\sqrt{3}$.
- m) Elektrický blízky zkrat – zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu I''_k bez motorů.
- n) Elektricky vzdálený zkrat – zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní.
- o) Doba trvání zkratu t_k – doba od okamžiku vzniku zkratu až do jeho konečného vypnutí ve všech fázích postižených zkratem.

3.3 Postup výpočtu

- a) Nejprve se nakreslí schéma zapojení obvodu, do kterého se zapíšou parametry uvažovaných prvků vztažené k jejich jmenovitému výkonu a napětí, jakož i napětí zdrojů a vztažná napětí jednotlivých napěťových hladin.

- b) Poté se sestaví náhradní schéma soustavy (náhradní schéma sousledné složky pro souměrné zkraty, pro nesouměrné zkraty náhradní schéma všech složek).
- c) Pro každý složkový systém se určí jeho impedance nakrátko vztažená k místu zkratu.
- d) Pro souslednou složku se určí výsledné výpočtové napětí.
- e) Vypočítá se počáteční rázový zkratový proud I''_k tekoucí místem poruchy.
- f) Dále se vyhodnotí příspěvek alternátorů.
- g) Určí se potřebné parametry určující zkratové poměry.
- h) Je-li potřeba, určí se zkratový proud tekoucí jednotlivými větvemi obvodu.

3.4 Určování sousledných parametrů prvků soustavy ve fyzikálních jednotkách

Soustava

$$Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{c \cdot U_n}{S_k} \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

U_n – jmenovité sdružené napětí v kV nahrazované sítě

c – napěťový činitel

I''_k – počáteční rázový zkratový proud v kA příspěvku soustavy při trojfázovém zkratu

S_k – zkratový výkon soustavy v MVA při trojfázovém zkratu

Pro soustavu oddělenou od místa zkratu transformátorem a při zběžném výpočtu lze uvažovat

$$Z_{(1)} = X_{(1)}$$

Alternátor

$$X_{(1)} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad [\Omega, \%, kV, MVA] \quad (2.2)$$

X_d'' – rázová reaktance alternátoru

U_{nG} – jmenovité napětí alternátoru

S_{nG} – jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru

Dvouvinutové transformátory

$$Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, kV, MVA] \quad (2.3)$$

$$R_{(1)} = \frac{P_{knT} * U_{nT}^2}{S_{nT}^2} \quad [\Omega, MW, kV, MVA] \quad (2.4)$$

$$X_{(1)} = \sqrt{Z_{(1)}^2 - R_{(1)}^2} \quad [\Omega] \quad (2.5)$$

u_k – jmenovité napětí nakrátko

U_{nT} – jmenovité napětí transformátoru

S_{nT} – jmenovitý výkon transformátoru

P_{knT} – jmenovité ztráty nakrátko

Při výpočtu počátečního rázového zkratového proudu I''_k je možno obvykle uvažovat $X_{(1)} = Z_{(1)}$, $R_{(1)} = 0$. Rezistanci transformátoru se doporučuje uvažovat u transformátorů VN/NN a je nutno jí uvažovat, je-li jí třeba k určení dalších hodnot průběhu zkratového proudu.

Tlumivky omezující zkratový proud (reaktory)

$$Z_{(1)} = \frac{10 * u_R * U_n}{\sqrt{3} * I_n} \quad [\Omega, \%, kV, A] \quad (2.6)$$

u_R – impedanční napětí reaktoru

U_n – jmenovité sdružené napětí reaktoru

I_n – jmenovitý proud reaktoru

Rezistanci reaktoru můžeme proti jeho reaktanci zanedbat, neboť je nepatrná ($R = 0,01X$), takže $Z_{(1)} = X_{(1)}$.

Vedení

$$X_{(1)} = X_k * l \quad [\Omega, \Omega/km, km] \quad (2.7)$$

$$R_{(1)} = R_k * l \quad [\Omega, \Omega/km, km] \quad (2.8)$$

X_k – reaktance sousledné složky vedení

R_k – rezistence sousledné složky vedení

l – délka vedení

Parametry jednotlivých prvků se musí přepočítat na napěťovou hladinu v místě zkratu dle vztahu:

$$Z_2 = Z_1 * \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \quad [\Omega, \Omega, kV, kV] \quad (2.9)$$

Z_2 – impedance přepočtena na napěťovou hladinu U_2 v místě zkratu

Z_1 – impedance na napěťové hladině U_1

3.5 Vztahy pro výpočet zkratových proudů

Počáteční rázový zkratový proud I''_{k3} při trojfázovém zkratu

$$I''_{k3} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * |Z_{(1)}|} \quad (2.10)$$

Počáteční rázový zkratový proud I''_{k2} při dvoufázovém zkratu

$$I''_{k2} = \frac{c * U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \quad (2.11)$$

Počáteční rázový zkratový proud I''_{k1} při jednofázovém zkratu

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} * c * U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|}$$

c – napěťový činitel

U_n – jmenovité sdružené napětí sítě v místě zkratu

$Z_{(1)}$ – výsledná sousledná impedance zkratového obvodu

$Z_{(2)}$ – výsledná zpětná impedance zkratového obvodu

$Z_{(0)}$ – výsledná nulová impedance zkratového obvodu

Nárazový zkratový proud I_{km}

$$I_{km} = \sqrt{2} * K * I''_k \quad (2.13)$$

K – součinitel nárazového zkratového proudu

I''_k – počáteční rázový zkratový proud

Ekvivalentní oteplovací proud I_{th}

$$I_{th} = I_k'' * \sqrt{m + n} \quad (2.14)$$

I_k'' – počáteční souměrný rázový zkratový proud

m – součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky pro každý zkratový proud

n – součinitel pro tepelné účinky střídavé složky pro každý zkratový proud [4,6,7]

4. Popis ochran navržených pro chránění rozvodny Ostrava-Poruba 22 kV

K chránění vedení jsou použity ochrany SIEMENS SIPROTEC 7SJ632, ve spojkách je použit typ 7SJ645, v měření jsou použity 7SJ80 bez ochranných funkcí.

4.1 Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana je hlavní ochrannou funkcí přístrojů 7SJ62/63/64. Obsahuje po třech stupních pro fázové proudy a zemní proud. Všechny stupně jsou na sobě nezávislé a je možno je libovolně kombinovat. Je-li v izolovaných nebo zhašených sítích potřebná spolupráce třífázových přístrojů s dvoufázovými ochrami, může se vedle třífázového způsobu práce projektovat také dvoufázový provoz nadproudové ochrany. Zkratový stupeň $I_{>>}$ a nadproudový stupeň $I_{>}$ pracují vždy s proudově nezávislým vypínacím časem (proudově nezávislá ochrana), třetí stupeň I_p vždy s proudově závislým vypínacím časem (proudově závislá ochrana).

4.1.1 Nezávislé zkratové stupně $I_{>>}$, $IE_{>>}$

Každý fázový a zemní proud je jednotlivě porovnáván s náběhovou hodnotou $I_{>>}$, popř. $IE_{>>}$ a při překročení hlášen. Po uplynutí příslušných časů působení $T I_{>>}$, popř. $T IE_{>>}$ je vyslán vypínací povel, který je rovněž k dispozici odděleně pro každý stupeň. Přídržný poměr je asi 95 % náběhové hodnoty pro proudy $> 0,3 I_N$.

4.1.2 Nezávislé nadproudové stupně $I_{>}$, $IE_{>}$

Každý fázový proud a zemní proud je jednotlivě porovnáván s náběhovou hodnotou $I_{>}$, popř. $IE_{>}$ a při překročení hlášen. Pokud je použita stabilizace při zapnutí, jsou vydávána v závislosti na detekci zapínacího proudu, buď běžná hlášení o nábězích, nebo hlášení, odpovídající zapínací stabilizaci. Po uplynutí příslušných časů působení $T I_{>}$ popř. $T IE_{>}$ je vyslán vypínací povel, pokud není v činnosti stabilizace při zapnutí. Při zapnuté stabilizaci a detekci zapínacího proudu nenásleduje vypnutí, je ale vždy po uplynutí příslušného časového stupně vysláno hlášení. Hlášení o vypnutí a uplynutí času jsou k dispozici odděleně pro každý stupeň. Přídržný poměr je asi 95 % náběhové hodnoty pro proudy $> 0,3 I_N$.

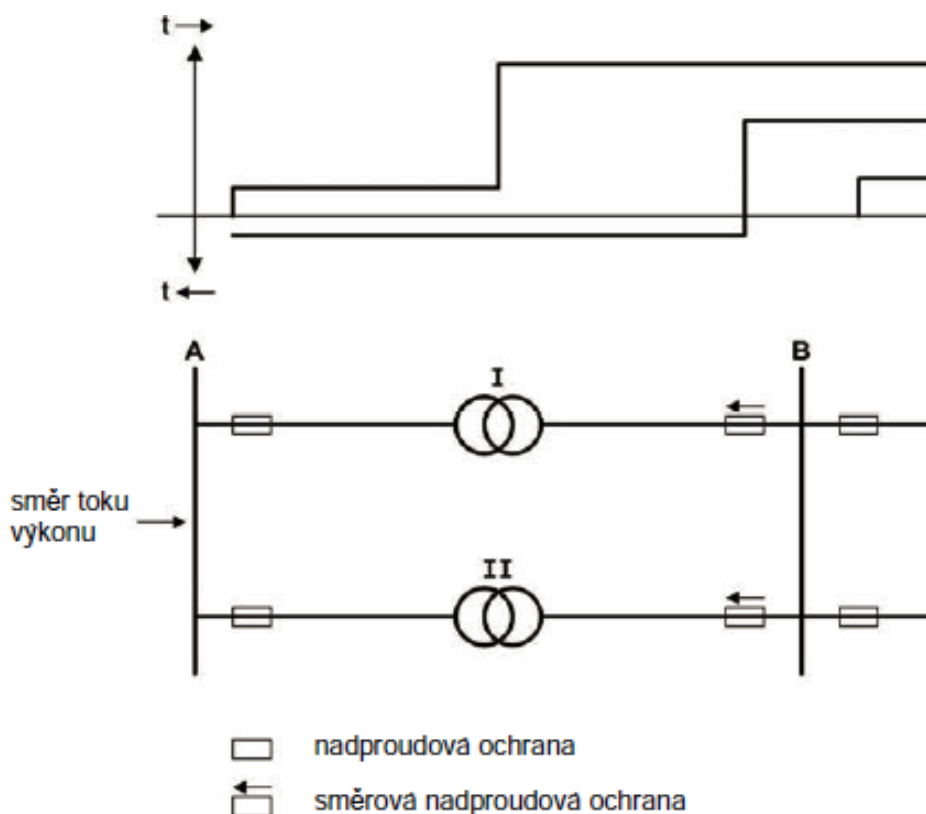
4.1.3 Proudově závislé nadproudové stupně I_p , I_{Ep}

Stupně závislé nadproudové ochrany jsou závislé na variantě objednávky. Pracují vždy s proudově závislou charakteristikou, a sice buď dle normy IEC, nebo ANSI. Charakteristiky a příslušné vzorce jsou uvedeny v technických údajích. Při projektování jedné ze závislých charakteristik jsou v činnosti rovněž také nezávislé stupně $I_{>>}$ a $I_{>}$.

4.2 Směrová nadproudová ochrana

4.2.1 Všeobecně

U jednostranně napájených vedení nebo transformátorů (obr. 8), by byla porucha na jedné větvi (I) vypínána i v druhé (II), pokud by nebylo vypnutí vypínače v paralelní větvi zabráněno směrovým členem (u B). V místě, označeném na (obr. 8) směrovou šipkou, je proto nasazena směrová nadproudová ochrana. Přitom je nutno dbát na to, že směr ochrany „vpřed“ znamená směr do chráněného objektu, který nemusí být identický se smyslem výkonu normálního toku zátěže, jak ukazuje obr. 8.



Obr. 8 Nadproudová ochrana u paralelních transformátorů

4.3 Ochrana proti nesymetrii

Ochrana proti nesymetrii slouží k detekci nesymetrické zátěže elektrických strojů.

Příklady aplikace

- Touto ochrannou funkcí mohou být detekovány přerušení, zkratky nebo záměny v zapojení proudových transformátorů.
- Mohou být zjišťovány jednopólové a dvoupólové zkratky, při kterých jsou poruchové proudy menší, než proud zátěže.

Předpoklady

Ochrana proti nesymetrii je v činnosti, pokud:

alespoň jeden fázový proud větší než $0,1 \times I_N$ a všechny fázové proudy jsou menší než $10 \times I_N$.

4.4 Automatika opětného zapnutí

Podle zkušeností zhasne asi 85 % obloukových zkratů na venkovních vedeních samo po vypnutí ochranou. Vedení se tedy může znovu zapnout. Znovu zapnutí je po beznapěťové pauze prováděno automatikou opětného zapnutí. Pokud zkrat po opětném zapnutí stále trvá (oblouk nezhasnul nebo kovový zkrat), ochrana provede definitivní vypnutí. V mnoha sítích se provádějí i vícenásobné pokusy opětného zapnutí.

Příklady aplikace

- Automatika opětného zapnutí integrovaná v 7SJ632 může být řízená i vnější ochranou (tzv. druhá ochrana). V tomto případě musí probíhat výměna signálů mezi 7SJ632 a vnější ochranou pomocí binárních vstupů a výstupů.
- Je také možné nechat spolupracovat přístroj 7SJ632 s vnější automatikou OZ.
- Volitelně se může opětné zapnutí provádět také ve spolupráci s integrovanou synchronizační funkcí nebo s vnějším synchrocheckem.
- Protože automatika OZ nemá smysl při nasazení přístroje 7SJ632 u motorů, generátorů, transformátorů, kabelů, tlumivek apod., měla by být v těchto aplikacích funkce mimo provoz.

4.5 Detekce zemních poruch

Multifunkční ochrany 7SJ62/63/64 mohou být dle varianty vybaveny na čtvrtém proudovém vstupu citlivým vstupním převodníkem nebo standardním převodníkem 1/5 A. V prvním případě je ochranná funkce určena kvůli své vysoké citlivosti k detekci zemních spojení v izolovaných nebo zhasšených sítích, méně vhodná je pro detekci zemních zkratů s velkými zemními proudy, protože lineární rozsah pro citlivou detekci zemních proudů končí asi při 1,5 A na svorkách přístroje. Při vybavení standardním převodníkem 1/5 A mohou být korektně snímány také velké proudy.

Příklady aplikace

- Citlivá detekce zemních poruch se může použít v izolovaných nebo zhasšených sítích pro detekci zemních spojení, pro určení fáze postižené zemním spojením a k určení směru zemního spojení.
- V přímo nebo nízko ohmově (odporově) uzemněných sítích slouží citlivá detekce zemních poruch k detekci vysoko ohmových zemních zkratů.
- Funkce se může použít také jako doplňková zemní zkratová ochrana.[8]

5. Výpočet zkratových poměru pro nastavení ochran

5.1 Výpočet pro rozvodnu Ostrava-Poruba 110/22 kV

Hodnoty pro stranu 110 kV byly vypočteny a převzaty z programu Daisy.

Zkratové hodnoty rozvodny Ostrava-Poruba 110/22 kV

Tab. 1 Zkratové hodnoty rozvodny na straně 110 kV

Ostrava-Poruba 110/22 kV				
napětí (kV)	S_{ks}^3	I_{ks}^3	S_{ks}^1	I_{ks}^1
110	(MVA)	(kA)	(MVA)	(kA)
Max	2426,80	12,74	2181,70	11,45
Min	982,40	5,16	1059,80	5,56

Parametry transformátorů

Tab. 2 Parametry transformátorů

Trafo	S_{nT} (MVA)	U_{n1T} (kV)	U_{n2T} (kV)	u_k (%)
T101	50	110,0	23,0	11,67
T102	50	110,0	23,0	11,64

Výpočet maximální a minimální zkratové reaktance na straně 110 kV:

$$X_{s\max} = \frac{1,1 * 100}{S_{ks3} * p_p^2} = \frac{1,1 * 100}{2426,80 * 0,956521739^2} = 0,04954$$

$$X_{s\min} = \frac{100}{S_{ks3} * p_p^2} = \frac{100}{982,40 * 0,956521739^2} = 0,11126$$

Výpočet převodového poměru zohledňující skutečné hodnoty provozovaných napětí:

$$p_p = \frac{U_{n1T}}{U_{n2T}} * \frac{U_{V2}}{U_{V1}} = \frac{110}{23} * \frac{23}{115} = 0,956521739$$

Výpočet pro transformátor T101:

$$X_{T101} = \frac{u_k}{100} * \frac{U_{n2T}^2}{S_{nT}} * \frac{100}{U_{V2}^2} = \frac{11,67}{100} * \frac{23^2}{50} * \frac{100}{23^2} = 0,23340$$

Výpočet pro transformátor T102 :

$$X_{T102} = \frac{u_k}{100} * \frac{U_{n2T}^2}{S_{nT}} * \frac{100}{U_{V2}^2} = \frac{11,64}{100} * \frac{23^2}{50} * \frac{100}{23^2} = 0,23280$$

Výpočet celkové maximální a minimální zkratové reaktance na přípojnících 22 kV ze strany T101:

$$X_{max} = X_{s\ max} + X_{T101} = 0,04954 + 0,23340 = 0,28294$$

$$X_{min} = X_{s\ min} + X_{T101} = 0,11126 + 0,23340 = 0,34466$$

Výpočet celkové maximální a minimální zkratové reaktance na přípojnících 22 kV ze strany T102:

$$X_{max} = X_{s\ max} + X_{T102} = 0,04954 + 0,23280 = 0,28234$$

$$X_{min} = X_{s\ min} + X_{T102} = 0,11126 + 0,23280 = 0,34406$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu ze strany T101:

$$I_{k3\ max} = \frac{i_k''_{max} * 100}{U_{V2}} = \frac{2,24458 * 100}{23} = 9,76\ kA$$

$$I_{k3\ min} = \frac{i_k''_{min} * 100}{U_{V2}} = \frac{1,84267 * 100}{23} = 8,01\ kA$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu ze strany T102:

$$I_{k3\ max} = \frac{i_k''_{max} * 100}{U_{V2}} = \frac{2,24935 * 100}{23} = 9,78\ kA$$

$$I_{k3\ min} = \frac{i_k''_{min} * 100}{U_{V2}} = \frac{1,84588 * 100}{23} = 8,03\ kA$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového výkonu a reaktance ze strany T101:

$$S_k''_{max} = \sqrt{3} * U_{V2} * I_k''_{max} = \sqrt{3} * 23 * 9,76 = 388,77\ MVA$$

$$S_k''_{min} = \sqrt{3} * U_{V2} * I_k''_{min} = \sqrt{3} * 23 * 8,01 = 319,16\ MVA$$

$$X_{k \max}'' = \frac{1,1 * S_{k \max}''}{3 * I_{k \max}''^2} = \frac{1,1 * 388,77}{3 * 9,76^2} = 1,497 \Omega$$

$$X_{k \min}'' = \frac{S_{k \min}''}{3 * I_{k \min}''^2} = \frac{319,16}{3 * 8,01^2} = 1,657 \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového výkonu a reaktance ze strany T102:

$$S_{k \max}'' = \sqrt{3} * U_{V2} * I_{k \max}'' = \sqrt{3} * 23 * 9,78 = 389,60 \text{ MVA}$$

$$S_{k \min}'' = \sqrt{3} * U_{V2} * I_{k \min}'' = \sqrt{3} * 23 * 8,03 = 319,72 \text{ MVA}$$

$$X_{k \max}'' = \frac{1,1 * S_{k \max}''}{3 * I_{k \max}''^2} = \frac{1,1 * 389,60}{3 * 9,78^2} = 1,494 \Omega$$

$$X_{k \min}'' = \frac{S_{k \min}''}{3 * I_{k \min}''^2} = \frac{319,72}{3 * 8,03^2} = 1,655 \Omega$$

5.2 Příklad výpočtu pro vedení VN1862

Výpočet činných odporů jednotlivých úseku:

$$R_{v1} = l_1 * R_k = 5,125 * 0,125 = 0,641 \Omega$$

$$R_{v2} = l_2 * R_k + R_{v1} = 0,145 * 0,125 + 0,641 = 0,659 \Omega$$

$$R_{v3} = l_3 * R_k + R_{v2} = 0,390 * 0,125 + 0,659 = 0,708 \Omega$$

$$R_{v4} = l_4 * R_k + R_{v3} = 0,390 * 0,125 + 0,708 = 0,756 \Omega$$

$$R_{v5} = l_5 * R_k + R_{v4} = 0,235 * 0,125 + 0,756 = 0,786 \Omega$$

$$R_{v6} = l_6 * R_k + R_{v5} = 0,160 * 0,125 + 0,786 = 0,806 \Omega$$

$$R_{v7} = l_7 * R_k + R_{v6} = 0,635 * 0,125 + 0,806 = 0,885 \Omega$$

$$R_{v8} = l_8 * R_k + R_{v7} = 0,180 * 0,125 + 0,885 = 0,908 \Omega$$

$$R_{v9} = l_9 * R_k + R_{v8} = 3,550 * 0,125 + 0,908 = 1,351 \Omega$$

Výpočet reaktancí jednotlivých úseku:

$$X_{v1} = l_1 * X_k = 5,125 * 0,113 = 0,579 \Omega$$

$$X_{v2} = l_2 * X_k + X_{v1} = 0,145 * 0,113 + 0,579 = 0,596 \Omega$$

$$X_{v3} = l_3 * X_k + X_{v2} = 0,390 * 0,113 + 0,596 = 0,640 \Omega$$

$$X_{v4} = l_4 * X_k + X_{v3} = 0,390 * 0,113 + 0,640 = 0,684 \Omega$$

$$X_{v5} = l_5 * X_k + X_{v4} = 0,235 * 0,113 + 0,684 = 0,710 \Omega$$

$$X_{v6} = l_6 * X_k + X_{v5} = 0,160 * 0,113 + 0,710 = 0,728 \Omega$$

$$X_{v7} = l_7 * X_k + X_{v6} = 0,635 * 0,113 + 0,728 = 0,800 \Omega$$

$$X_{v8} = l_8 * X_k + X_{v7} = 0,180 * 0,113 + 0,800 = 0,820 \Omega$$

$$X_{v9} = l_9 * X_k + X_{v8} = 3,550 * 0,113 + 0,820 = 1,222 \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

$$I_{k3 \max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \min}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,641^2 + (1,494 + 0,579)^2}} = 6,73 \text{ kA}$$

$$I_{k3 \min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \max}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,641^2 + (1,657 + 0,579)^2}} = 5,71 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{k \max} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 94}{9780 * 1,02} \right)^2 = 5,11 \text{ s}$$

Tyto výpočty jsou počítány pro první úsek vedení OS_OPOR<<OS_9367. Další úseky jsou počítány analogicky. Výsledky viz tabulka 3.

Tab. 3 Parametry vedení VN1862

OS_OPOR><OS_9358	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_OPOR><OS_9367		5125	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9367><OS_9353		145	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9353><OS_8375		390	240	AXEKVCEY	417	94
OS_8375><OS_9358		390	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9358><OS_9355 (vn1863)		235	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9355><OS_9356		160	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9356><OS_7872		635	240	AXEKVCEY	417	94
OS_7872><OS_9339		180	240	AXEKVCEY	417	94
OS9339><OS_OPOR		3550	240	AXEKVCEY	417	94

Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t_{vyp} (s)
0,125	0,113	0,641	0,579	6,73	5,71	5,11
0,125	0,113	0,659	0,596	6,67	5,66	10,79
0,125	0,113	0,708	0,640	6,50	5,52	11,00
0,125	0,113	0,756	0,684	6,34	5,40	11,58
0,125	0,113	0,786	0,710	6,24	5,32	12,18
0,125	0,113	0,806	0,728	6,18	5,27	12,55
0,125	0,113	0,885	0,800	5,94	5,08	12,81
0,125	0,113	0,908	0,820	5,88	5,03	13,86
0,125	0,113	1,351	1,222	4,82	4,18	14,16

V následujících tabulkách jsou uvedeny třífázové maximální a minimální zkratové proudy a maximální vypínací časy pro každý úsek jednotlivých vedení s rozvodny Ostrava-Poruba.

Tab. 4 Parametry vedení VN1860

OS_OPOR><OS_9337	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_OPOR><OS_9337		2955	240	AXEKVCEY	417	94

Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t_{vyp} (s)
0,125	0,113	0,369	0,334	7,83	6,56	5,11

Tab. 5 Parametry vedení VN1861

OS_OPOR><Excelence (plánované)	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_OPOR><Excelence		5525	240	AXEKVCEY	417	94
Excelence><OS_OPOR		4525	240	AXEKVCEY	417	94

Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t_{vyp} (s)
0,125	0,113	0,691	0,624	6,56	5,57	5,11
0,125	0,113	1,256	1,136	5,01	4,34	11,38

Tab. 6 Parametry vedení VN1863

OS_OPOR><OS_9358	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_OPOR><OS9339		3550	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9339><OS_7872		180	240	AXEKVCEY	417	94
OS_7872><OS_9356		635	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9356><OS_9355		160	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9355><OS_9358		235	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9358><OS_8375 (vn1862)		390	240	AXEKVCEY	417	94
OS_8375><OS_9353		390	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9353><OS_9367		145	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9367><OS_OPOR		5125	240	AXEKVCEY	417	94

Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t_{vyp} (s)
0,125	0,113	0,444	0,401	7,51	6,31	5,11
0,125	0,113	0,466	0,421	7,41	6,23	8,68
0,125	0,113	0,546	0,493	7,09	5,98	8,91
0,125	0,113	0,566	0,511	7,01	5,92	9,73
0,125	0,113	0,595	0,538	6,90	5,84	9,95
0,125	0,113	0,644	0,582	6,72	5,70	10,27
0,125	0,113	0,693	0,626	6,55	5,56	10,83
0,125	0,113	0,711	0,642	6,49	5,52	11,40
0,125	0,113	1,351	1,222	4,82	4,18	11,62

Tab. 7 Parametry vedení VN1864

OS_OPOR><OS_9358	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_OPOR><OS_9358	1	3930	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9358><OS_8375 (vn1862)		390	240	AXEKVCEY	417	94
OS_8375><OS_9353		390	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9353><OS_9367		145	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9367><OS_OPOR		5125	240	AXEKVCEY	417	94

Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t_{vyp} (s)
0,125	0,113	0,491	0,444	7,31	6,15	5,11
0,125	0,113	0,540	0,488	7,11	6,00	9,16
0,125	0,113	0,589	0,532	6,92	5,86	9,67
0,125	0,113	0,607	0,549	6,86	5,80	10,20
0,125	0,113	1,248	1,128	5,03	4,35	10,41

1: Úsek OS_9358><OS_OPOR (vn1863)	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_9358><OS_9355 (vn1863)		235	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9355><OS_9356		160	240	AXEKVCEY	417	94
OS_9356><OS_7872		635	240	AXEKVCEY	417	94
OS_7872><OS_9339		180	240	AXEKVCEY	417	94
OS9339><OS_OPOR		3550	240	AXEKVCEY	417	94

Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t_{vyp} (s)
0,125	0,113	0,491	0,444	7,31	6,15	9,16
0,125	0,113	0,511	0,462	6,91	5,83	9,16
0,125	0,113	0,591	0,534	6,62	5,60	10,24
0,125	0,113	0,613	0,554	6,54	5,53	11,18
0,125	0,113	1,057	0,955	5,24	4,51	11,45

Tab. 8 Parametry vedení VN1865

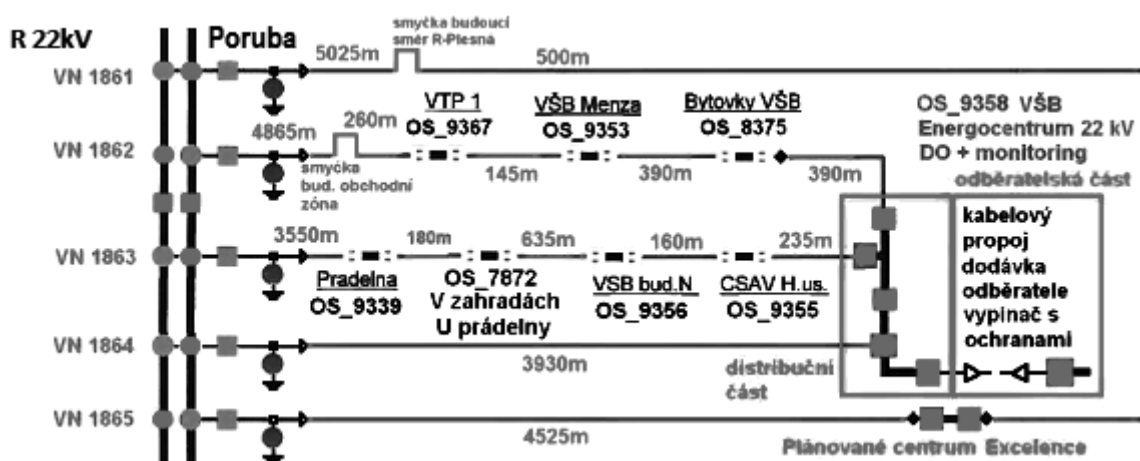
OS_OPOR><Excelence (plánované)	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_OPOR><Excelence		4525	240	AXEKVCEY	417	94
Excelence><OS_OPOR (vn1861)		5525	240	AXEKVCEY	417	94

Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t _{vyp} (s)
0,125	0,113	0,566	0,511	7,01	5,92	5,11
0,125	0,113	1,256	1,136	5,01	4,34	9,95

Tab. 9 Parametry vedení VN1866

OS_OPOR><OS_9337	Odbočka	Délka (m)	Průřez	Typ	Zatížení (A)	K
OS_OPOR><OS_9337		2955	240	AXEKVCEY	417	94

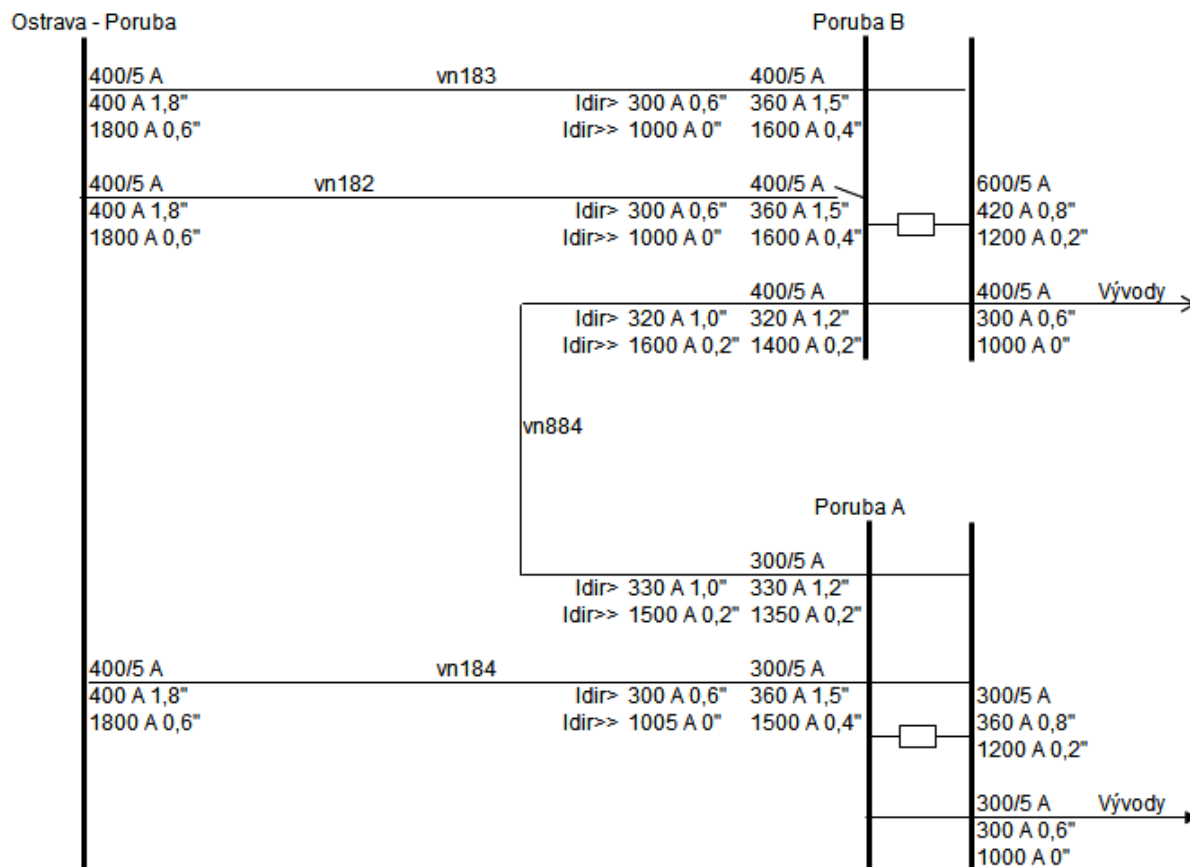
Rk (Ω/km)	Xk (Ω/km)	Rv (Ω)	Xv (Ω)	Ik max (kA)	Ik min (kA)	t _{vyp} (s)
0,125	0,113	0,369	0,334	7,83	6,56	5,11



Obr. 9 Schéma napájení VŠB

Výpočty pro napájení VŠB jsou obsaženy v tabulkách číslo (3, 5, 6, 7 a 8).

5.3 Výpočet pro napájení Poruba A, B



Obr. 10 Schéma Spínací stanice

Vedení VN 183

Výpočet činných odporů a reaktancí:

$$R_v = l * R_k = 5,1 * 0,125 = 0,6375 \Omega$$

$$X = l * X_k = 5,1 * 0,113 = 0,5763 \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

$$I_{k3 \max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \min}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,6375^2 + (1,494 + 0,5763)^2}} = 6,74 \text{ kA}$$

$$I_{k3 \min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \max}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,6375^2 + (1,657 + 0,5763)^2}} = 5,71 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{kmax} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 94}{9780 * 1,02} \right)^2 = 5,11 \text{ s}$$

Vedení VN 182

Výpočet činných odporů a reaktancí:

$$R_v = l * R_k = 5,1 * 0,125 = 0,6375 \Omega$$

$$X = l * X_k = 5,1 * 0,113 = 0,5763 \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

$$I_{k3max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{kmin}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,6375^2 + (1,494 + 0,5763)^2}} = 6,74 \text{ kA}$$

$$I_{k3min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{kmax}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,6375^2 + (1,657 + 0,5763)^2}} = 5,71 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{kmax} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 94}{9780 * 1,02} \right)^2 = 5,11 \text{ s}$$

Vedení VN 184

Výpočet činných odporů a reaktancí:

$$R_v = l * R_k = 3,6 * 0,125 = 0,45 \Omega$$

$$X = l * X_k = 3,6 * 0,113 = 0,4068 \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

$$I_{k3max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{kmin}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,45^2 + (1,494 + 0,4068)^2}} = 7,47 \text{ kA}$$

$$I_{k3min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{kmax}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,45^2 + (1,657 + 0,4068)^2}} = 6,28 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{kmax} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 94}{9780 * 1,02} \right)^2 = 5,11 \text{ s}$$

Vedení VN 884

Výpočet činných odporů a reaktancí:

$$R_v = l * R_k = 0,886 * 0,129 = 0,114 \Omega$$

$$X = l * X_k = 0,886 * 0,088 = 0,077 \Omega$$

Rozvodna Poruba A napájená přes Porubu B

Výpočet činných odporů a reaktancí:

$$R_v = R_{v(VN183)} + R_{v(VN884)} = 0,6375 + 0,114 = 0,751 \Omega$$

$$X_v = X_{v(VN183)} + X_{v(VN884)} = 0,5753 + 0,077 = 0,652 \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

$$I_{k3max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_v^2 + (X_{kmin}'' + X_v)^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,751^2 + (1,494 + 0,652)^2}} = 6,42 \text{ kA}$$

$$I_{k3min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_v^2 + (X_{kmax}'' + X_v)^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,751^2 + (1,657 + 0,652)^2}} = 5,46 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{kmax} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 70}{6740 * 1,02} \right)^2 = 5,96 \text{ s}$$

Rozvodna Poruba B napájená přes Porubu A

$$R_v = l * R_k = 0,112 * 0,129 = 0,014 \Omega$$

$$X = l * X_k = 0,112 * 0,088 = 0,0098 \Omega$$

Výpočet činných odporů a reaktancí:

$$R_v = R_{v(VN184)} + R_{v(VN884)} = 0,45 + 0,014 = 0,464 \Omega$$

$$X_v = X_{v(VN184)} + X_{v(VN884)} = 0,4068 + 0,0098 = 0,417 \, \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

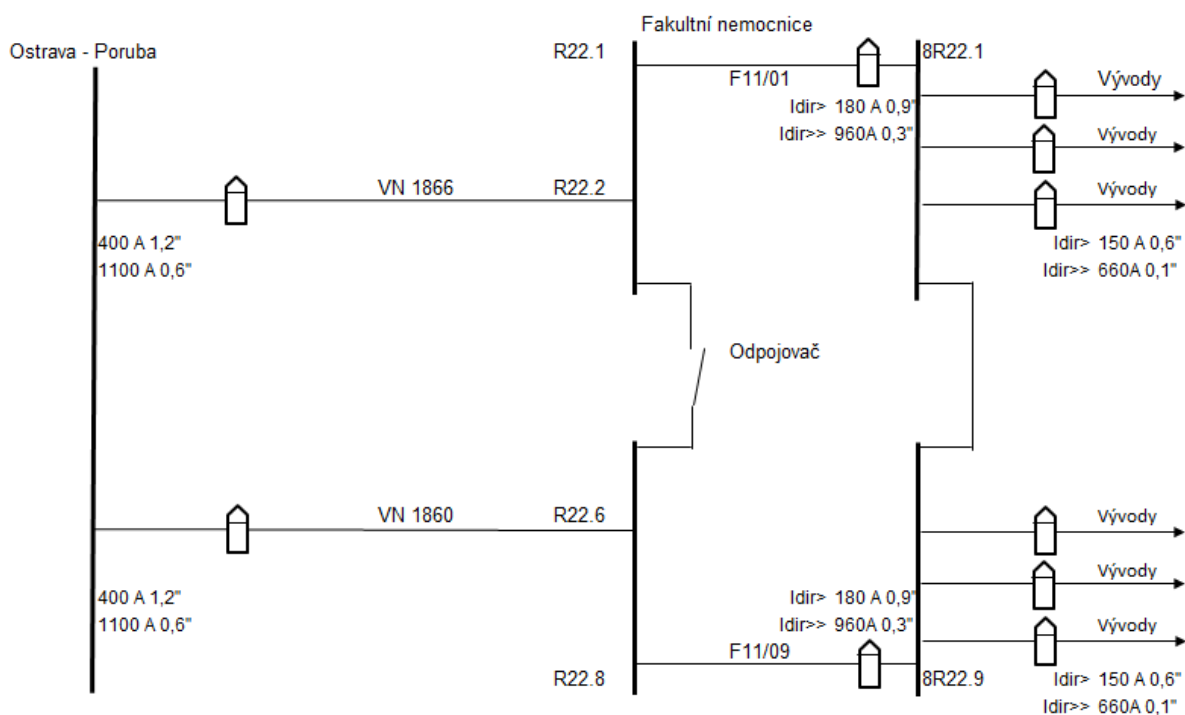
$$I_{k3 \max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_v^2 + (X_{k \min}'' + X_v)^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,464^2 + (1,494 + 0,417)^2}} = 7,42 \, kA$$

$$I_{k3 \min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_v^2 + (X_{k \max}'' + X_v)^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,464^2 + (1,657 + 0,417)^2}} = 6,24 \, kA$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{k \max} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 70}{7480 * 1,02} \right)^2 = 4,84 \, s$$

5.4 Výpočet pro Fakultní nemocnici



Obr. 11 Schéma zapojení pro Fakultní nemocnici

Vedení VN 1866

Výpočet činných odporu a reaktanci:

$$R_v = l * R_k = 2,955 * 0,125 = 0,369 \, \Omega$$

$$X = l * X_k = 2,955 * 0,113 = 0,334 \, \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

$$I_{k3 \max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \min}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,369^2 + (1,494 + 0,334)^2}} = 7,83 \, kA$$

$$I_{k3 \min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \max}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,369^2 + (1,657 + 0,334)^2}} = 6,55 \, kA$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{k\ max} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 94}{9780 * 1,02} \right)^2 = 5,11\ s$$

Vedení VN 1860

Výpočet činných odporů a reaktancí:

$$R_v = l * R_k = 2,955 * 0,125 = 0,369\ \Omega$$

$$X = l * X_k = 2,955 * 0,113 = 0,334\ \Omega$$

Výpočet maximálního a minimálního zkratového proudu:

$$I_{k3\ max} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k\ min}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,369^2 + (1,494 + 0,334)^2}} = 7,83\ kA$$

$$I_{k3\ min} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k\ max}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1 * 23000}{\sqrt{3} * \sqrt{0,369^2 + (1,657 + 0,334)^2}} = 6,55\ kA$$

Výpočet maximálního vypínacího času:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S * K}{I_{k\ max} * ke} \right)^2 = \left(\frac{240 * 94}{9780 * 1,02} \right)^2 = 5,11\ s$$

6. Návrh a nastavení ochran vedení VN

6.1 Nastavení ochran pro stanice Poruba A, B

Tab. 10 Nastavení ochran Poruba A, B

Rozvodna	Rozvodna	SJZ	Pole	Typy ochran	Nadproudová nesměrová			
SJZ	název	hladina		Nadproudová, Zkratová, Zemní	I>	t>	I>>	t>>
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(A)	(s)	(A)	(s)
OS_PORA	Poruba A	AVB	VN184	7SJ621	360	1,5	1500	0,4
OS_PORA	Poruba A	AVB	VN884	7SJ621	330	1,2	1350	0,2
OS_PORB	Poruba B	AVA	VN182	7SJ621	360	1,5	1600	0,4
OS_PORB	Poruba B	AVA	VN183	7SJ621	360	1,5	1600	0,4
OS_PORB	Poruba B	AVA	VN884	7SJ621	320	1,2	1400	0,2

Nadproudová směrová				Zemní směrová Wo (TL sítě)		
I>	t>	I>>	t>>	I _o	U _o	t _o
(A)	(s)	(A)	(s)	(A)	(%)	(s)
300	0,6	1005	0	2	15	0,2
330	1	1500	0,2	2	15	0,2
300	0,6	1000	0	2	15	0,2
300	0,6	1000	0	2	15	0,2
320	1	1600	0,2	2	15	0,2

U vedení VN 182 a VN 183 je použito totožné nastavení ochran z důvodu zálohy jednoho vedení druhým. Zvolené časy působení ochran jsou od sebe časově odstupňovány, aby byla dodržena selektivita.

6.2 Nastavení ochran ve vstupní rozvodně Fakultní nemocnice Ostrava

Tab. 11 Nastavení ochran Fakultní nemocnice

Rozvodna	Rozvodna	Pole	Typy ochran
SJZ	název		Nadproudová, Zemní
(-)	(-)	(-)	(-)
FNO	Přívod 1	8R22.1	REF615
FNO	Přívod 2	8R22.9	REF615
FNO	Vývody	8R22.3-6	REF615
FNO	Vývody	8R22.11-14	REF615

Nadproudová				Zemní směrová I_{EF}	
$I>$	$t>$	$I>>$	$t>>$	I_0	t_0
(A)	(s)	(A)	(s)	(A)	(s)
180	0,9	960	0,3	2	0,1
180	0,9	960	0,3	2	0,1
150	0,6	660	0,1	2	0,1
150	0,6	660	0,1	2	0,1

Na vývodech s rozvodny je provedeno jiné nastavení ochran než v předchozím případě. Nastavení bylo upraveno, aby byla dodržena selektivita působení ochran s ochranami umístěnými přímo v nemocnici.

6.3 Nastavení ochran v rozvodně Ostrava-Poruba

Tab. 12 Nastavení ochran na vývodech rozvodny Ostrava-Poruba

Směr	Pole	Nadproudová				Zemní směrová Wo (TL sítě)		
název		I>	t>	I>>	t>>	I _o	U _o	t _o
(-)	(-)	(A)	(s)	(A)	(s)	(A)	(%)	(s)
Poruba B	VN183	400	1,8	1800	0,6	2	15	0,15
Poruba B	VN182	400	1,8	1800	0,6	2	15	0,15
Poruba A	VN184	400	1,8	1800	0,6	2	15	0,15
FNO	VN1866	400	1,2	1100	0,6	2	15	0,15
FNO	VN1860	400	1,2	1100	0,6	2	15	0,15
Centrum Excelence	VN1861	400	0,1	1000	0	2	15	0,15
VŠB	VN1862	400	0,1	1000	0	2	15	0,15
VŠB	VN1863	400	0,1	1000	0	2	15	0,15
VŠB	VN1864	400	0,1	1000	0	2	15	0,15
Centrum Excelence	VN1865	400	0,1	1000	0	2	15	0,15

V této tabulce je uvedeno nastavení ochran na vývodech z rozvodny Ostrava-Poruba.

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat funkci elektrických ochran, teorii výpočtu zkratových poměrů a vhodné nastavení jednotlivých ochran.

V této práci jsem se zaměřil na návrh a nastavení ochran pro nově postavenou rozvodnu Ostrava-Poruba 22 kV. V jednotlivých bodech práce jsem popisoval typy ochran, které jsou v rozvodně použity. Také byly zvláště popsány jejich hlavní funkce. Dalším bodem této diplomové práce je samotný výpočet zkratových poměrů na vedeních, které napájejí stávající spínací stanice Poruba A a Poruba B a rovněž nově postavené trafostanice ve Fakultní nemocnici a VŠB. V nastavování ochran jsem se zaměřil na nastavení ochran pro Fakultní nemocnici. Nastavení bylo provedeno na vývodech z rozvodny, ochrany použity v nemocnici mají vlastní nastavení. K tomuto nastavení bych měl jedno doporučení, týkající se nastavení času zemních směrových ochran. Je nastaven na nízkou hodnotu, tudíž budou ochrany reagovat i na nejmenší přechodový děj. Ve Fakultní nemocnici jsou použity směrové ochrany, díky tomu lze provozovat síť paralelně, za předpokladu rozepnutého odpojovače. Dalším objektem pro nastavení je spínací stanice Poruba A, B nastavení je provedeno tak, aby byla dodržena selektivita působení ochran. Nastavení vývodu pro Vysokou školu báňskou je zatím jen dočasné, po připojení všech objektů se musí znovu celé nastavení provést znovu.

Použitá literatura

- [1] **Hradílek, Zdeněk.** *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí.* Ostrava : VŠB, 2008.
- [2] **Doc.Ing. Evžen Haluzík, Csc.** *Ochrany a automatiky v elektrických sítích.* Brno : Ediční středisko VUT Brno, 1985.
- [3] **Dohnálek, Petr.** *Ochrany pro průmysl a energetiku.* Praha : Nakladatelství technické literatury, 1991.
- [4] **Norma ČSN EN 60909-0**
- [5] **Norma ČSN 33 3050**
- [6] **Medvec, Zdeněk.** *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách - Návod do cvičení.* Ostrava : VŠB, 2001.
- [7] **Hradílek, Zdeněk.** *Elektroenergetika II.* Ostrava : VŠB, 1993.
- [8] **Manuál Siemens Nadproudová ochrana 7SJ80**
- [9] **Podklady ČEZ Distribuce, a.s.**

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma spolupráce mezi ochranou a chráněným objektem

Obr. 2 Charakteristiky nadproudových ochran

Obr. 3 Vypínací plán nezávislých ochran

Obr. 4 Chránění paprskového vedení závislými nadproudovými ochranami

Obr. 5 Napěťové a proudové poměry v kompenzované síti 22 kV

Obr. 6 Vektorový diagram zemního spojení

Obr. 7 Určení místa poruchy v paprskové síti

Obr. 8 Nadproudová ochrana u paralelních transformátorů

Obr. 9 Schéma napájení VŠB

Obr. 10 Schéma Spínací stanice

Obr. 11 Schéma zapojení pro Fakultní nemocnici

Seznam tabulek

Tab. 1 Zkratové hodnoty rozvodny na straně 110 kV

Tab. 2 Parametry transformátorů

Tab. 3 Parametry vedení VN1862

Tab. 4 Parametry vedení VN1860

Tab. 5 Parametry vedení VN1861

Tab. 6 Parametry vedení VN1863

Tab. 7 Parametry vedení VN1864

Tab. 8 Parametry vedení VN1865

Tab. 9 Parametry vedení VN1866

Tab. 10 Nastavení ochran Poruba A, B

Tab. 11 Nastavení ochran Fakultní nemocnice

Tab. 12 Nastavení ochran na vývodech rozvodny Ostrava-Poruba